**第十三届国际天文与天体物理奥林匹克竞赛**

**数据分析试题**

匈牙利 凯斯特海伊 2019年8月2日11日

**1. 新星海豚座2013的测光与光谱**

2013年8月14日14:01 UT (MJD = 56518.584)Koichi Itagaki发现了星等为6.8的经典新星海豚座V339(海豚座新星2013). 专业和业余天文学家很快开始了新星的测光和光谱测量.消息发出后不到10小时, 当匈牙利夜幕降临时, 当地天文学家使用1 m望远镜接eShel echelle光谱仪拍摄了该新星的第一条光谱.

根据图1.1和1.2回答以下问题.



图1.1: 海豚座新星2013 – Johnson V光变曲线



图1.2: 海豚座新星2013 – H谱线附近的光谱

图1.1显示了新星的光变曲线, 该曲线基于从AAVSO(美国变星观测协会)网站下载的数据. 横轴是观测的简化儒略日(MJD = JD 240000.5), 纵轴是Johnson V星等. 灰色圆点(约38000个数据点)表示测量值, 连续黑线是使用高斯滤光片(半高全宽FWHM = 0.5天)对数据进行平滑处理得到的“平均”光变曲线.

*t*2和*t*3表示变化所需的时长, 以天为单位, 角标2和3分别表示新星的星等比最大亮度变化2个星等和3个星等对应的时间间隔.

一些文献给出了V波段绝对星等的峰值(*M*0)和*t*2、*t*3之间的几个经验公式:

(i)  (Della Valle, M. & Livio, M.: 1995, ApJ 452, 704)

(ii)  (Downes, R.A. & Durbeck, H.W.: 2000, AJ 120, 2007)

(iii) (Downes, R.A. & Durbeck, H.W.: 2000, AJ 120, 2007)

海豚座新星2013的色余*E*(*B* – *V*) (Chochol, D. et al.: 2014, Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso 43, 330)是: *E*(*B* – *V*) = 0.184 0.035.

图1.2显示了在H线附近波长范围拍摄的新星光谱. 拍摄的时间为新星达到最大亮度之前和之后连续六个晚上. 最大亮度对应的时间为(*t*0). 为了便于观察, 每条谱线在竖直方向进行了平移. 每次观测的简化儒略日(MJD)列在每条谱线的右侧.

H线具有被称为P Cygni的展宽的轮廓. 这种现象不仅存在于新星, 而是存在于几乎所有光谱型中, 它表示了从恒星中喷出的物质存在显著的径向运动. P Cygni轮廓由强且宽的发射线和较弱的蓝移成分共同组成, 其中宽发射线的中心静止波长(对于H) 0 = 6562.82 Å. 新星喷出的外壳的(径向)膨胀速度可以从吸收线的测量波长中近似得到, 计算时利用多普勒公式, 其中 = – 0, 径向速度用*v*r表示, *c*代表光速.

假设H线显示出的P Cygni轮廓是因为球形膨胀壳的最外层激发引起的, 并且在拍摄第一条光谱时, 膨胀范围还可以忽略不计.

**(a)** 根据图1.1, 直接读出新星处于峰值星等状态时对应的简化儒略日(MJD0)以及峰值星等值. 读星等数值时应把结果表示为读出值加上0.05m的误差值.

**(b)** 写出星等改变2个和3个后对应的星等值, 然后读图得出这两个星等值分别对应的简化儒略日, 然后分别计算出*t*2和*t*3对应的时间间隔.

**(c)** 根据(b)问算出的*t*2和*t*3, 利用三个经验公式, 分别计算出三个公式对应的峰值绝对星等, 然后计算出这些峰值绝对星等的平均值(*M*0), 并利用标准差公式计算出这三个峰值绝对星等的标准差, 把标准差表示为平均值的误差.

标准差公式: .

**(d)** 根据给定的色余数值及误差式, 计算新星的星际消光*A*V及其误差. 利用红化率*R*V = 3.1, 不考虑红化率的误差.

**(e)** 分步骤写明距离的推导表达式. 然后以kpc为单位, 估算新星的距离及其误差.

**(f)** 依据图1.2, 测量P Cygni轮廓吸收线的中心波长, 写出径向速度表达式, 计算对应的径向速度. 不用做误差估计.

**(g)** 画出径向速度随简化儒略日的变化趋势.

**(h)** 根据(g)问画出的图像, 以天文单位au为单位, 估算最后一天膨胀球壳的物理半径.

**(i)** 根据新星的距离和5天后膨胀球壳的半径, 估算膨胀球壳的视角直径.

**2. 三重掩食分级式三恒星系统**

HD 181068是NASA的系外行星猎手开普勒空间望远镜在近4年中连续观测的主要任务中最亮的目标之一. 开普勒望远镜观测到周期为0.453天的亮度减弱, 约34 10–3星等. (注意, 观测到的偶数周期的减弱略小于奇数周期)此外, 还观测到每22.7天有一个持续2.3 天、0.007等的亮度减弱.

匈牙利天文学家完成了对这个很不寻常的星等变化的解释工作. 他们发现, HD 181068其实是一个几乎侧向我们的紧致分级式三恒星系统.

该系统由A、B、C三颗恒星组成. 其中B、C星形成了所谓内部的密近双星系统. 而A星始终与另外两颗恒星保持着较远的距离, 它的轨道半长轴明显大于内部的绕转轨道(通 常是数量级的区别). 该三星系统的示意图见图2.1.



图2.1: 共面、分级式三恒星系统的极向示意图. 黑色箭头指向地球的方向. 三个轨道上较粗段表示掩星发生时所对应的弧长

从数学上讲, 分级式三星系统的运动可以看作是两个互不干扰的开普勒二体运动: (1) 内部双星的开普勒二体运动. (2) 密近双星的质量中心和第三颗恒星的另一个开普勒绕转轨道, 即“外双星”.

本题中B星和C星是一个周期为*P*1 = 0.9056768天的食双星系统, 它们的质量中心和A星形成了一个周期为*P*2 = 45.4711天的绕转外双星. 这个轨道的平面几乎是平行于开普勒探测器的视线方向(即地球的方向), 在外轨道运动的过程中, 不仅是星B和星C会彼此掩食,星A也会同时掩食它们或被它们掩食, 造成了“变得最暗”的情况.

**i.** 掩食的几何情况确定恒星的物理尺度(和其他参数)

以下假设用于解决这部分的问题: (1) 内双星轨道和外双星轨道都是正圆, (2) 内双星轨道和外双星轨道共面, (3) 该平面平行于视线方向(即*i*1 = *i*2 = 90且*i*rel = 0).我们来考虑之前说的那种“变得最暗”的情况, 即类似中心食(“掩”或者是“凌”一类似环食的情况). 这样就有4个接触时刻, 类似日食的初亏、食既、生光、复圆的情况. 现在情况变得更复杂, 因为并非两颗, 而是三颗星参与了掩食. 当然, 尽管如此, 我们可以通过光变曲线来确定不同的接触时刻, 而且还能确定是密近双星中的哪颗与之接触(当然另一颗参与掩食的星一定是A星.)

表1中列出了开普勒探测器测得的一些掩食接触的精确时刻, 接触的类型以及参与的星都列出了. 时刻以质心儒略日(BJD)的方式给出.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 事件序号 | 接触类型 | 参与的恒星 | BJD | 1 | 2 |
| 1 | I | A, B | 2455476.1096 |  |  |
| II | A, C | 2455476.4245 |  |  |
| III | A, B | 2455477.9677 |  |  |
| IV | A, B | 2455478.4722 |  |  |
| 2 | I | A, B | 2455521.5217 |  |  |
| 3 | III | A, C | 2455568.9434 |  |  |
| 4 | I | A, C | 2455612.4733 |  |  |
| III | A, C | 2455614.3571 |  |  |
| 5 | III | A, B | 2455659.9241 |  |  |
| IV | A, C | 2455660.2422 |  |  |

**(a)** 给出*T*01 = 2455051.2361和*T*02 = 2455522.7318分别代表内双星和外双星的接触时间点(即从观测者的角度来看, C星掩食B星, 和A星掩食B星和C星的质量中心).

定义: 1(*t*) = {(*t* – *T*01)/*P*1}, 2(*t*) = {(*t* – *T*02)/*P*2}分别为内双星和外双星的相位角, 就是内部两颗星连线和其质量中心到观测者方向所成的夹角, 以及A星到质量中心和质量中心到观测者方向所成的夹角.

{*x*}表示实数*x*的小数部分. 如果{*x*} < 0就用{*x*} + 1代替. *x*就是上式大括号中计算得到的数值. 计算表1中不同接触时刻对应的相位角, 结果保留4位小数.

**(b)** 在几次掩食事件中, 是A星, 还是密近双星距离观测者更近. 将答案填写在答题纸相应的表里.

**(c)** 利用表1的结果, 计算(1)每颗恒星的无量纲半径与外轨道半长轴之比(*R*A,B,C/*a*2), (2)两个轨道半长轴之比(*a*1/*a*2), 以及(3)B星和C星的质量比(*q*1 = *m*C/*m*B). 提示:在计算中保留至少4位小数的精确度. 要注意, 由于给出的时间数据精度有限, 计算中可能无法利用到所有理论上的接触数据组合.

**(d)** 基于上述结果, 计算外双星的质量比(*q*2 = *m*BC/*m*A).

**ii.** 通过径向速度(RV)和掩食的时长变化(ETV)来确定恒星的质量.

为了确定RV的数据, 使用了四种不同的设备进行地面光谱观测. 只有A星的谱线被四个设备观测到. 根据其随时间变化的情况, A星径向速度的变化曲线符合以下形式: ,

其中*V*是整个系统的速度, *K*A是其在双星系统中的速度变化幅度:

*V* = 6.993 0.011 km s–1, *K*A = 37.195 0.053 km s–1, *P*2 = 45.4711 0.0002 d, .

接下来，研究人员确定了密近双星(B星和C星)形成的常规掩食的中间时刻, 并发现该时刻可以引入轨道旋转的周期*N*th简化公式得出: *TN* = *T*0 + *P*1*N* +, 其中, *T*0 = BJD 2455051.23607 5 10–5, *P*1 = 0.9056768 3 10–7 d, *A*ETV = 0.001446 0.000110 d, 0 = –0.76779 0.01937 rad.

在上式中, *A*ETV表示每次掩食开始时间变化的幅度, *T*0表示一次主掩食(初始)的中心时刻, *N*表示周期数, 其中整数表示主掩食(当较暗的C星挡住较亮的B星), 半整数表示另一种情况(B星挡住C星).

确定(1)密近双星的总质量和A星的质量比(*q*2 = *m*BC/*m*A), 只能使用ii中的结果, (2)A星的质量(*m*A), 以及(3)内部密近双星的总质量(*m*BC). 计算(1), (2)和(3)中质量的误差. 提示: 为了节约时间, 关于质量请用太阳质量作为单位, 关于轨道请用太阳半径或au作为单位.

**iii.** 利用(i)和(ii)中的结论, 确定B星和C星的质量. 分别计算三颗恒星的物理大小(以太阳半径为单位).